

2.5

S'ESTRET DES TEMPS: REGISTRO CUATERNARIO, EOLIANITAS Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS

Joan J. FORNÓS¹, Antonio RODRÍGUEZ-PEREA¹, Richard G. BROMLEY²
y Lars B. CLEMMENSEN²

1) Dept. Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca.

2) Geological Institute, University of Copenhagen, Copenhagen K, Denmark.

INTRODUCCIÓN

Dentro del área mediterránea occidental, la isla de Mallorca es un área clásica de estudio de las eolianitas pleistocenas carbonatadas y de su relación con el clima y las oscilaciones del nivel del mar (Butzer y Cuerda, 1962; Butzer, 1975; Cuerda, 1975; Hillaire-Marcel *et al.*, 1996; Hearty, 1987; Clemmensen *et al.*, 1977, 2001; Rose *et al.*, 1999). De entre las eolianitas destacan los depósitos de frente de acantilado del Pleistoceno superior, que han sido explotados tradicionalmente en la isla para la extracción de bloques para la construcción (*marès*). El afloramiento que nos ocupa, s'Estret des Temps, es una de estas viejas canteras de explotación del *marès* (Fig. 1), que forma parte de un conjunto relativamente continuo de depósitos eólicos relacionados con el acantilado. Discurren paralelos a la costa del sur y sureste de Mallorca y su máxima representación se produce cerca del municipio de Santanyí. La magnífica calidad de los afloramientos permite reconstruir la evolución geomorfológica de un tipo de duna muy característica y compleja en su relación con el acantilado. Estos sistemas dunares consisten en la acumulación de materiales arenosos de origen marino, transportados por el viento y acumulados al pie de acantilados verticales (20-40 m de altura) que actúan de trampa, cortados en los depósitos carbonatados pertenecientes al Mioceno superior.

Estos depósitos forman parte de la sucesión pleistocena muy bien representada en el sur de Mallorca (Butzer, 1975; Cuerda, 1975). Se disponen de forma discordante sobre una superficie de erosión que afecta tanto a la secuencia terminal del Mioceno superior correspondiente la base a la *Unidad Arrecifal* (Pomar, *et al.*, 1985), que aflora al pie del acantilado, como a los niveles de calizas oolíticas, estromatolitos y niveles de manglares del *Complejo Terminal* (*Unidad Calizas de Santanyí* de Fornós y Pomar, 1983) que forman la mayor parte del mismo (Fig. 1).

La sucesión pleistocena (Butzer, 1975) está compuesta por ciclos sedimentarios relacionados con las variaciones glacioeustáticas del nivel del mar alternando depósitos marinos, atribuidos a playas y rasas de abrasión, y continentales, tanto eolianitas como depósitos aluviales y coluviales. Tradicionalmente se han relacionado las eolianitas con los estadios glaciales caracterizados por un nivel de mar bajo y condiciones frías y áridas (Clemmensen *et al.*, 1997, 2001).



Figura 1. Arquitectura sedimentaria de la eolianita de frente de acantilado en s'Estret des Temps (Santanyí).

Los depósitos eólicos presentes en s'Estret des Temps (Cala Figuera, municipio de Santanyí) son un impresionante ejemplo de un sistema dunar controlado por la topografía. Gracias a la presencia de antiguas canteras hoy abandonadas es fácilmente observable, de forma tridimensional y con gran nivel de detalle, la arquitectura y disposición de las láminas de dicha construcción eólica. Este tipo de acumulaciones eólicas controladas por la topografía son muy frecuentes en las zonas coteras (Pye y Tsoar, 1990; Livingstone y Warren, 1996) y normalmente comprenden las dunas eco, las dunas ascendentes y las rampas arenosas (Lankaster y Tchakerian, 1996). Estos tres tipos se hallan presentes en la zona de s'Estret, donde las estructuras sedimentarias y la información preservada en su estructura interna permiten la interpretación genética de la duna eco y de las dunas ascendentes relacionadas.

EL SISTEMA DUNAR

La roca

El material que compone el sedimento eólico del sistema dunar de s'Estret des Temps corresponde a arenas bioclásticas (Fig. 2a) formadas por más de un 90% de componentes esqueléticos carbonatados. Entre éstos destacan, por orden de importancia, los fragmentos de algas coralíneas (>50%, Fig. 2b), los moluscos, equinodermos, foraminíferos bentónicos y briozoos entre otros componentes bioclásticos de origen marino, algunos peloi-

des así como litoclastos calcáreos en pequeña proporción. Esta composición situaría el origen del sedimento en la plataforma marina somera próxima.

Las arenas que forman las dunas presentan un grado de clasificación muy elevado (Fig. 2c) y se distribuyen en láminas de 2 a 5 mm de potencia, donde alternan las arenas con tamaño de grano medio a grueso (0,25 – 1,0 mm) con láminas más finas formadas por arenas de grano fino (0,12 – 0,25). El grado de cementación de estas calcarenitas es bajo (Fig. 2d) alternando las láminas con diferente grado de cementación. Esta variación es rítmica y se ha atribuido (Fornós *et al.*, 2002) a las variaciones estacionales (periodos húmedos – periodos secos) características del clima en la región mediterránea.

Morfología dunar, arquitectura y estratigrafía de los depósitos

La secuencia estratigráfica pleistocena de s'Estret des Temps descansa sobre una serie de aterrazamientos y plataformas de abrasión cortados en los materiales carbonatados miocenos y formados durante el último estadio interglacial (Butzer y Cuerda, 1962; Butzer, 1975). La acumulación eólica de frente de acantilado comprende cuatro facies sedimentarias (coluviales y eólicas) separadas por superficies de claro significado estratigráfico. Los contactos entre los depósitos coluviales y eólicos son netos y relativamente planos, indicando un inicio relativamente repentino de la actividad eólica. Los contactos entre las

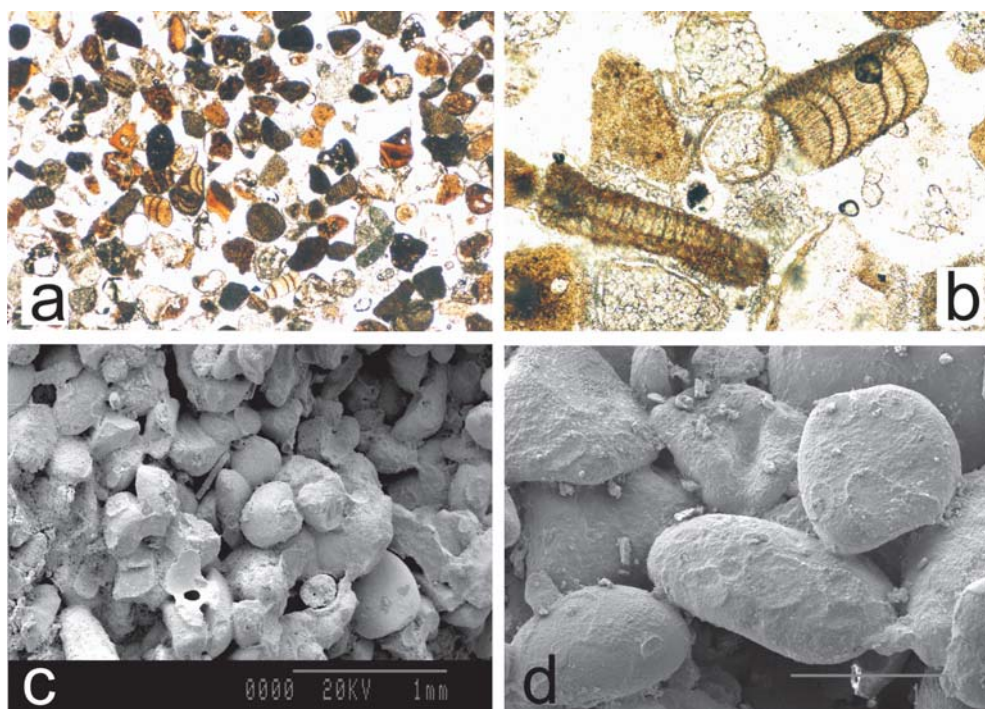


Figura 2. Microfotografías de los sedimentos eólicos (a) que muestran una composición bioclástica formada principalmente por algas coralináceas (b), y fotografías de microscopio electrónico (c y d) que muestran una buena clasificación de los sedimentos y un bajo grado de cementación.

eolianitas y los depósitos coluviales suprayacentes muestran una mayor variación; son de tipo erosional mostrando un paleorelieve que puede alcanzar un orden métrico, muy variable a lo largo de la pendiente deposicional, e incluyendo fragmentos de diversas dimensiones de eolianitas retrabajadas.

Clemmensen *et al.* (2001) diferencian cuatro facies deposicionales (Fig. 3a):

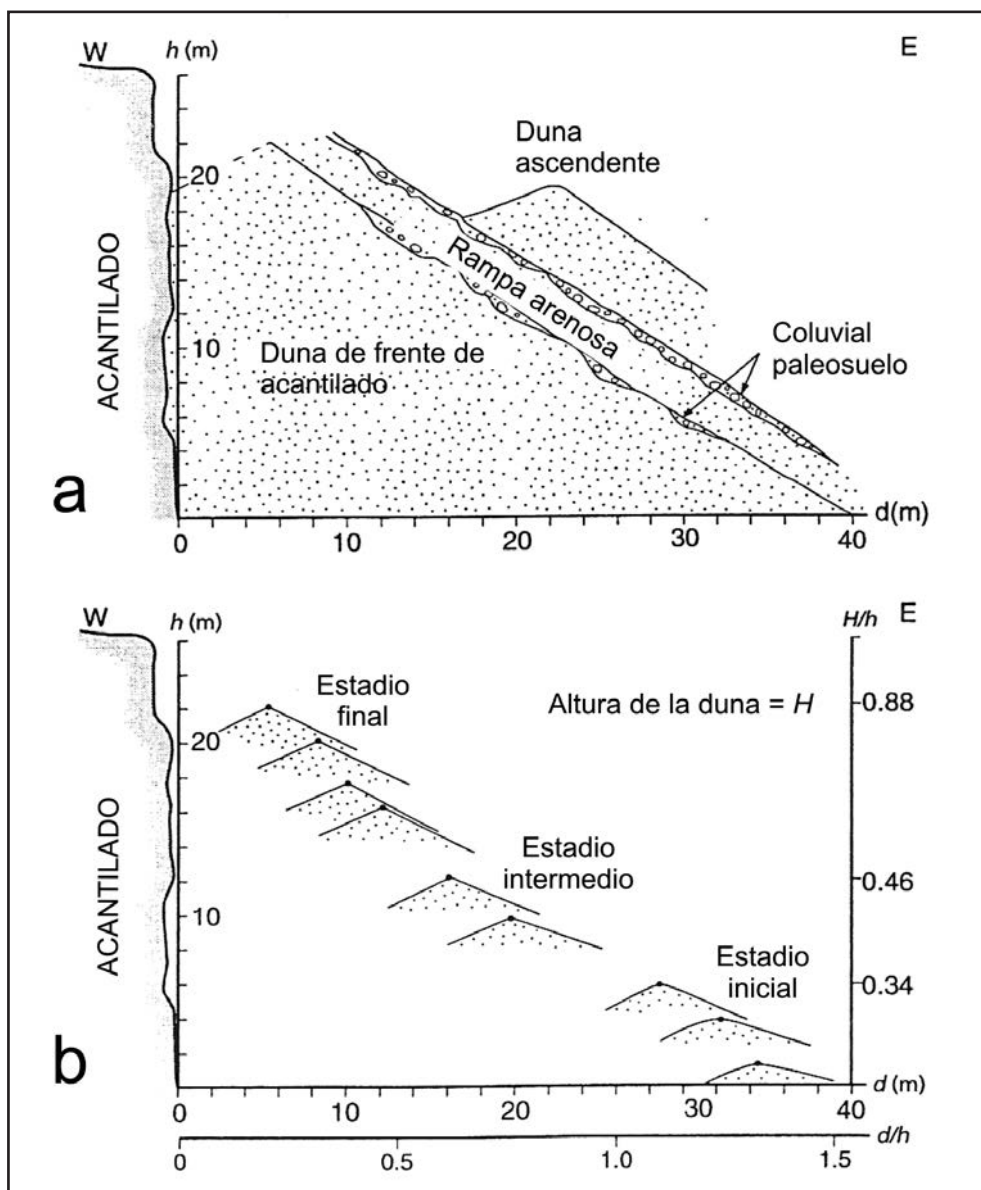


Figura 3. (a) Estratigrafía idealizada y (b) etapas de crecimiento de la duna de frente de acantilado (modificado de Clemmensen *et al.*, 1997).

Los depósitos de *duna de frente de acantilado* (*cliff-front dune*) consisten en una acumulación eólica de más de 30 m (Fig. 1) de potencia de arenas bioclásticas de grano grueso con muy poca presencia de material terrígeno, cementadas por calcita y mostrando una fina laminación de orden milimétrico. Corresponden a una duna que crece gracias al material arenoso marino transportado por el viento en dirección a tierra y que se acumula en frente de la pared, prácticamente vertical, de un acantilado. Esta acumulación que se dispone sobre materiales coluviales, presenta laminación de ondas de viento (*wind-ripples*) de bajo relieve así como numerosísimas huellas de pisadas de vertebrados (*Myotragus bale- aricus*; ver más adelante), invertebrados y algunas rizoconcreciones. Las capas de la duna están ordenadas como una estratificación cruzada crítica a supercrítica de gran escala de dunas ascendentes, con buen desarrollo tanto de las láminas de barlovento (en dirección al mar) como de las de sotavento (en dirección a tierra). El ángulo de inclinación de las láminas se incrementa en dirección al acantilado pudiendo alcanzar esporádicamente los 50°. Las superficies que corresponden a las láminas de barlovento buzan por lo general entre 15 a 25°. Las láminas de sotavento presentan inclinaciones entre los 20 y 26°, alcanzando en ocasiones entre 30-32°. El perfil de la duna es ligeramente asimétrico (Fig. 3a) y la línea de cresta varía de redondeada a angulosa, especialmente, esta última, cuando se observan superficies de reactivación (Fig. 4a).

La observación interna de la estructura de la duna en los cortes de la cantera, permite diferenciar dentro de la misma tres etapas diferentes de crecimiento, a partir de una arquitectura sedimentaria y con una morfología característica para cada una de ellas (Clemmensen *et al.*, 1997), en función de la distancia a la que se encuentra la duna respecto del

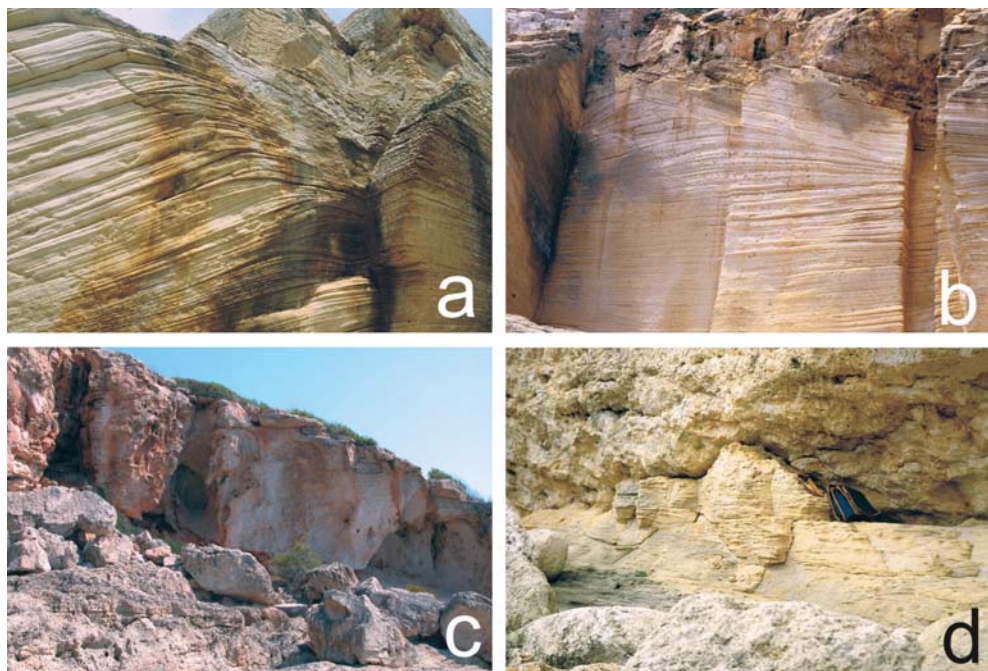


Figura 4. a) Superficies de reactivación (*zig-zag*) en la cresta de la duna; b) variación lateral del buzamiento de la laminación eólica; c) duna ascendente; d) ondas de corriente en la base del acantilado.

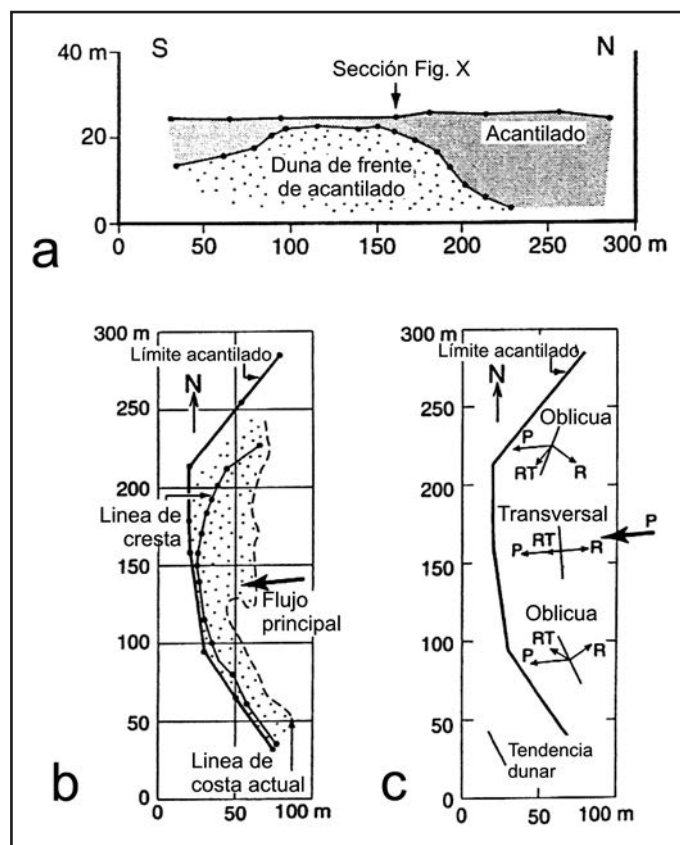


Figura 5.

Principales relaciones entre la duna y el acantilado: a) proyección sobre un corte N-S, b) línea de cresta de la duna, límite del acantilado y flujo principal del viento, y c) tendencias de crecimiento dunar en relación a las componentes del flujo eólico (modificado de Clemmensen *et al.*, 1997).

acantilado (d), de la altura del acantilado (h) y de la altura de la duna (H). Así en el estadio inicial del crecimiento (Fig. 3b) la relación d/h estaría comprendida entre 0,9 y 1,5 con valores de H/h de 0,34. En este caso el perfil de la duna sería típicamente redondeado y la línea de cresta poco definida aunque se haría más anguloso y marcado en dirección al acantilado. Las láminas de barlovento incrementarían su pendiente en dirección al acantilado con valores de 12° a 25° tendiendo las láminas a la horizontalidad en la zona de cresta. Las láminas de sotavento presentan un buzamiento ligeramente superior (entre 20° y 26°). En el estadio intermedio de crecimiento de la duna (Fig. 3b) la relación d/h corresponde a valores de 0,6 a 0,9 con valores de H/h de 0,46. En este caso el perfil de la duna muestra la típica forma ligeramente asimétrica, con buzamiento de las láminas de barlovento entre los 20° y 26° y de sotavento entre 22° y 26° . La sección de la cresta de la duna varía de angulosa a redondeada, presentando con frecuencia en la parte interna de la misma estructuras en forma de zig-zag (Rubin, 1987) (Fig. 4a). El estadio final de la acumulación dunar presenta valores de la relación H/h superiores a 0,88 y la acumulación eólica se produce a partir de valores de d/h inferiores a 0,6 hasta alcanzar el techo del acantilado. Las láminas de barlovento buzan alrededor de 25° y las de sotavento por encima de los 30° . El perfil dunar es ligeramente asimétrico y el ángulo de buzamiento puede llegar a alcanzar los 50° (super-crítico). La línea de cresta suele ser angulosa con estructuras internas menos complejas. La

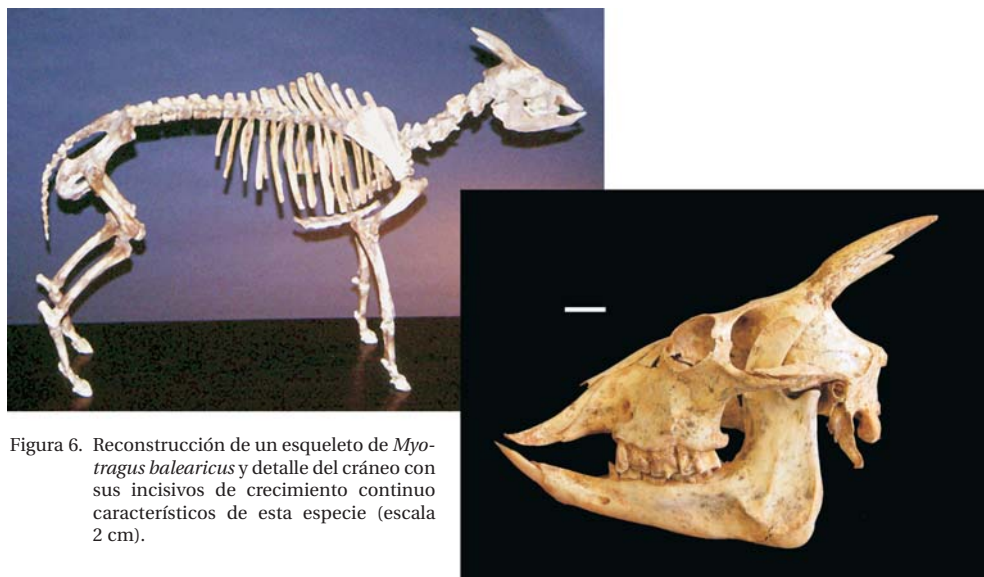


Figura 6. Reconstrucción de un esqueleto de *Myotragus balearicus* y detalle del cráneo con sus incisivos de crecimiento continuo característicos de esta especie (escala 2 cm).

complejidad vertical en la evolución y arquitectura, véase buzamiento y dirección de las láminas (Fig. 4b), se acentúa lateralmente desde el punto central de máxima acumulación dunar debido a la variabilidad de las componentes en la dirección del viento y de su interacción con las paredes del acantilado (Fig. 5c).

Aunque la duna en su etapa inicial corresponde a una duna eco (Tsoar, 1983), al conjunto general del sistema eólico que aflora en s'Estret des Temps se le puede aplicar el término de sistema dunar de frente de acantilado (*Cliff-front dune deposits* de Clemmensen *et al.*, 1997) para remarcar la importancia y la variabilidad de la acumulación eólica controlada por la topografía.

Los depósitos *coluviales* de rampa consisten en brechas formadas por clastos correspondientes a las calizas del Mioceno, o clastos cementados de las eolianitas pleistocenas incluidos dentro de una matriz roja que está formada por limos y arenas carbonatadas con algo de material terrígeno. Se depositan pendiente abajo del acantilado de donde proceden y en dirección al mar, aumentando en esa dirección su potencia (Fig. 3a). Presentan un contacto neto y casi siempre erosivo con los depósitos eólicos subyacentes, y un contacto variable, de gradual a neto, con los depósitos eólicos suprayacentes donde son observables abundantes moldes de raíces. Corresponden a periodos de intensa precipitación con el retrabajamiento de la arena eólica, y la presencia de suelo edáfico y fragmentos rocosos procedentes del acantilado depositados sobre la rampa en acontecimientos de flujo de derrubios (*debris flow*).

Los depósitos de *rampa arenosa* (*sand-ramp*) forman cuerpos de 1 a 3 m de potencia de arenas eólicas que recubren tanto los depósitos coluviales, cuando están presentes, como la duna de frente de acantilado. Estos depósitos ascendentes se desarrollan como una capa arenosa siguiendo la pendiente deposicional, formada a partir del acantilado con ángulos que oscilan entre los 20° y 30° en dirección al mar. Están formados por arenas bioclásticas de grano fino a grueso con un pequeño y variable porcentaje de material terrígeno.

no. Presentan laminación de ondas de viento (*wind-ripple*), huellas de vertebrados y moldes de raíces, observables en la laminación paralela. Esta rampa arenosa representaría el atrape de arena transportada por los vientos procedentes del sureste en la rampa desarrollada al frente del acantilado.

Finalmente, en la parte superior de la secuencia de frente de acantilado tenemos los depósitos correspondientes a las *dunas ascendentes* (Fig. 4c). Están formadas por arenas bioclásticas de finas a gruesas que presentan ondas de viento (*wind-ripple*) y laminación de flujo arenoso (*sandflow lamination*), dispuestas en *sets* de 1 a 2 m de potencia con estratificación cruzada de gran escala buzando hacia tierra. Estos depósitos registran dos acontecimientos diferentes de formación de dunas ascendentes sobre la rampa coluvial, desarrollándose principalmente allí donde la rampa coluvial es significativamente menor, en los lugares más deprimidos. Las dunas son relativamente pequeñas y presentan crestas ligeramente sinuosas debido a la influencia de la vegetación (visible por la presencia de abundantes rizoconcreciones).

DATACIÓN

Los sistemas dunares y paleosuelos de s'Estret des Temps han sido datados mediante las técnicas de radiocarbono (Clemmensen *et al.*, 2001; Fornós *et al.*, 2002). Así, una concha de molusco terrestre recogida en los niveles coluviales dispuestos sobre la duna inferior dan una edad de 41.000 cal. años BP. La duna inferior a partir de una muestra total de

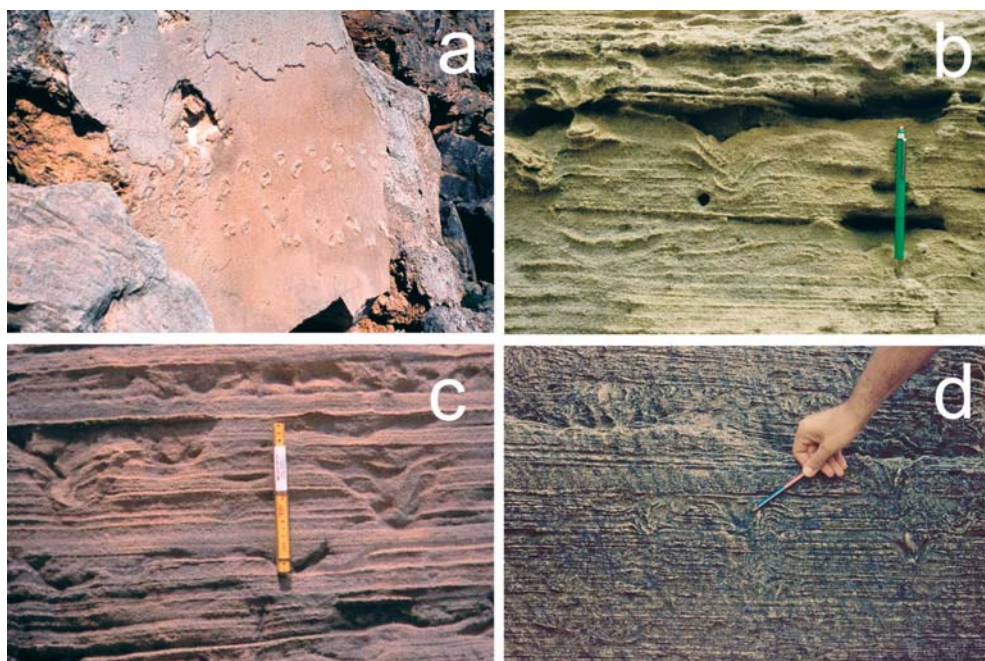


Figura 7. Icnitas y pistas de *Myotragus balearicus*. a) Primera pista descrita en el yacimiento de ses Piquetes (Santanyi), en un bloque desprendido correspondiente a la cresta de la duna; b), c) y d) diversas secciones de la deformación producida en la laminación eólica por las pisadas de *Myotragus*.

un fragmento de roca (granos más cemento) da una edad de 28.980 años BP que debe ser tomada en cuenta con precaución debido a las seguras alteraciones diagenéticas. Esta datación implicaría que el depósito dunar correspondería al último estadio glacial correspondiendo a un nivel de mar bajo (MIS 3), unos 50 m inferior al actual (Bradley, 1999).

ICNITAS Y PISTAS DE VERTEBRADOS EN LAS DUNAS PLEISTOCENAS

La mayor parte de las eolianitas pleistocenas, especialmente las que corresponden al estadio isotópico marino 3 (Fornós *et al.*, 2002), que afloran en el litoral de Mallorca presentan como característica diferencial rastros de *Myotragus balearicus*, Bate 1909. *Myotragus balearicus* es el fósil (Fig. 6) de un rupicaprino endémico de las Baleares, de unos 45 cm de altura y un peso que oscilaría entre los 20 y los 50 kg en los ejemplares adultos (Alcover *et al.*, 1999), y que sufrió un peculiar proceso de evolución insular (Alcover *et al.*, 1981) desde el Pleistoceno medio al Holoceno en las islas Gimnesias (Mallorca, Menorca y Cabrera). Sus ancestros colonizaron probablemente el archipiélago durante el Mioceno superior evolucionando rápidamente en condiciones insulares y con ausencia de depredadores directos.

Descritas sus pistas por primera vez en las eolianitas de frente de acantilado (Fig. 7a) y rampas arenosas pertenecientes al Pleistoceno superior, en unas canteras del SE de la isla (Fornós y Pons-Moyà, 1982), se han identificado también en la mayor parte de eolianitas

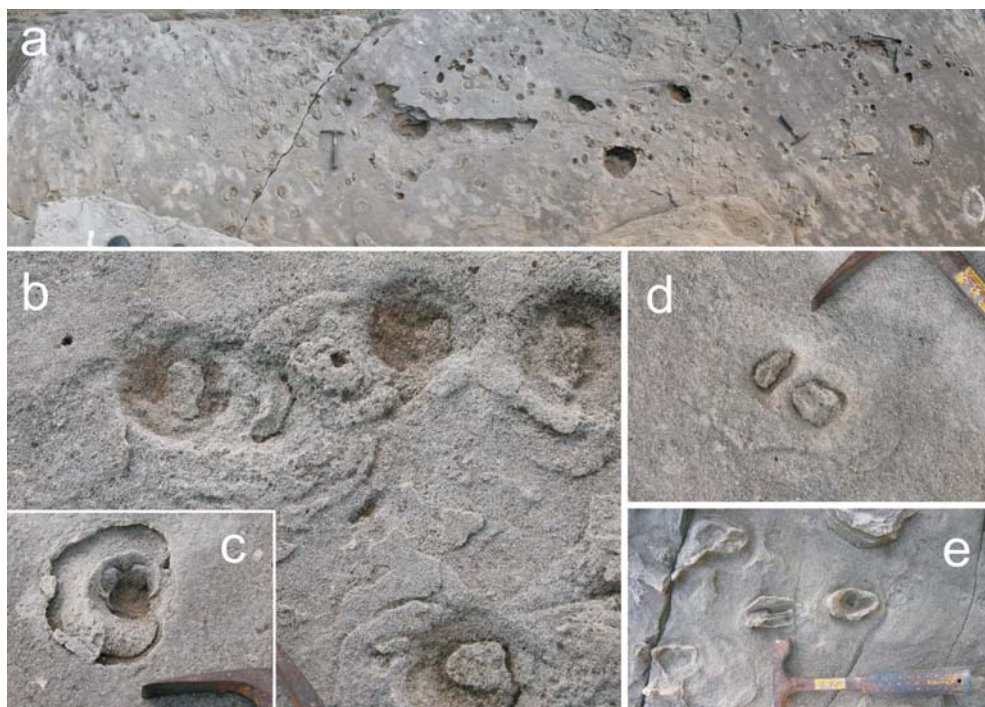


Figura 8. Diversos detalles de huellas y pistas de *Myotragus balearicus* en planta. a) Diversas pistas localizadas en la cresta de la duna; b y c) estructuras de deformación de la pisada con desplazamiento de masa de arena, erosión y microfracturación; d y e) detalles de los dedos de pies y manos en diferentes niveles de deformación.

tanto pleistocenas como holocenas, observándose un incremento de las mismas hasta los 5.000-4.000 BP en que se produce su extinción probablemente por la llegada del hombre (Alcover, 2004).

En la cantera de s'Estret des Temps, se pueden observar estos rastros en toda la secuencia eólica, aunque con distribuciones diferentes según la unidad en la que nos encontremos. Son más frecuentes en los depósitos basales de las dunas de pie de acantilado. En éstas se encuentran preferentemente en los depósitos que corresponden a barlovento del sistema dunar, siendo un poco más raras a sotavento. Las magníficas secciones que presenta la cantera permiten la observación de las abundantes láminas bioturbadas por el pisoteo de *Myotragus*, tanto en relación con la morfología dunar, como con el tipo de movimiento realizado por el vertebrado. Tanto la sección vertical, con diferentes niveles de penetración y de deformación de las láminas, como la sección horizontal (Fornós *et al.*, 2002), permiten hacer un concienzudo análisis de una deformación sedimentaria que implica, la mayor parte de las veces, tanto una deformación plástica como una ruptura microtectónica con formación de microfracturas y microcabalgamientos (Fig. 8b).

El grado de detalle morfológico observable en las pistas, permite reconocer su arquitectura y evolución como no se había podido observar con anterioridad en sustratos arenosos, no así en fangos. La actividad productora de la pisada comprende tres fases consecutivas: penetración, pivoteo y presión hacia atrás y retirada final del pie o mano, las cuales conducen a diversas posibilidades morfológicas que, además, dependerán del grado de profundización dentro del sedimento arenoso (Fig. 9).

También están presentes otras pistas que se caracterizan por presentar galerías horizontales con redes arborescentes de formas lineales o ligeramente sinusoidales, y que han

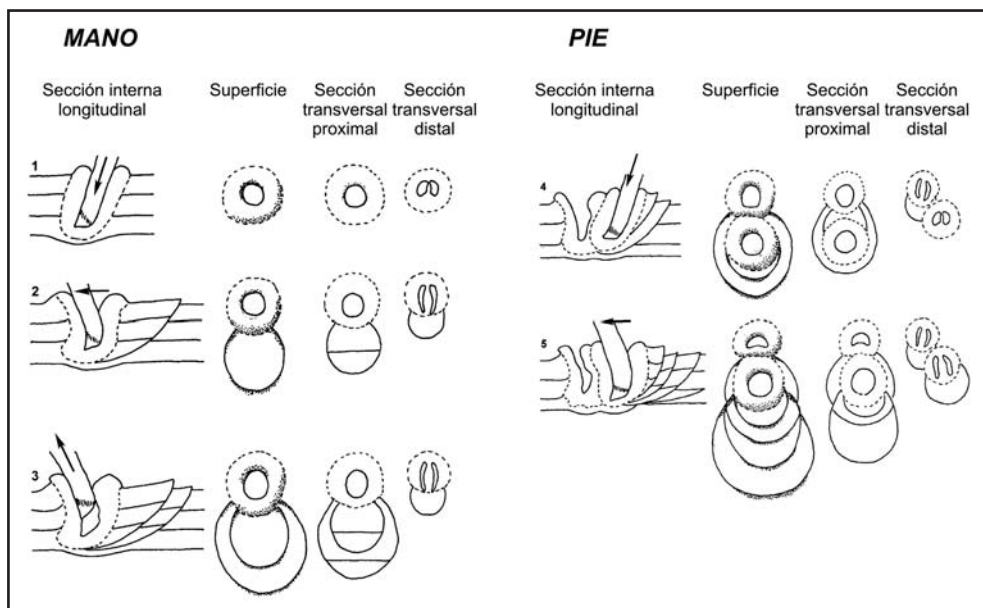


Figura 9. Modelo genético de las estructuras de deformación producidas por la pisada de pies y manos de *Myotragus balearicus*, afectando a láminas eólicas a diferentes niveles (modificado de Fornós *et al.* 2002).

sido atribuidas a insectos (Fornós *et al.*, 2002). Además, relacionados con los depósitos coluviales y con paleosuelos, es frecuente la observación de rizoconcreciones debidas al desarrollo de raíces y a su infiltración entre las láminas eólicas (Calvet y Pomar, 1975). La presencia sin embargo de dichas concreciones en las eolianitas es testimonial, indicando que las mismas estaban escasamente vegetadas.

CONCLUSIONES

En las zonas semi-protegidas (pequeñas bahías relativamente abiertas) de la costa sur y este de Mallorca son frecuentes depósitos eólicos litificados (eolianitas) frente a paleoacantilados marinos. Están formados, en una primera secuencia sedimentaria, por las acumulaciones debidas a vientos en dirección a tierra de arenas bioclásticas originadas en la línea de costa, con casi nula aportación terrígena. La segunda secuencia sedimentaria de frente de acantilado puede ser dividida en dos ciclos sedimentarios, iniciados por depósitos coluviales (registro de los períodos más húmedos) y recubiertos por depósitos dunares (registro de los períodos más áridos). Las dataciones radiométricas indicarían que la acumulación sería muy rápida, del orden de algunos miles de años, y que ésta se produjo en el último periodo glacial durante el estadio isotópico 3 (MIS 3).

Agradecimientos

El presente trabajo es una contribución al proyecto CLG2006-11242-C03-01_BTE financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia-FEDER.

REFERENCIAS

- Alcover, J.A. (2004). Disentangling the Balearic first settlement issues. *Endins*, 26: 143-156.
- Alcover, J.A., Moyà-Solà, S. y Pons, J. (1981). *Les quimeres del passat. Els vertebrats fòssils del Plio-Quaternari de les Balears i Pitiüses*. Ciutat de Mallorca. Mon. Científica. Editorial Moll, 1, pp. 1-260.
- Alcover, J.A., Pérez-Obiol, R., Yll, E.I. y Bover, P. (1999). The diet of *Myotragus balearicus* Bate 1909 (Artiodactyla, : Caprinae), an extinct bovid from the Balearic Islands : evidence from coprolites. *Biological Journal of the Linnnean Society*, 66: 57-74.
- Bradley, R.S. (1999). *Palaeoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press, San Diego, CA, 613 pp.
- Butzer, K.W. (1975). Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean Basin: A Mallorquin view. In: *After the Australopithecines* (K.W. Butzer and G. Isaac eds.) Mouton Press. The Hague.
- Butzer, K.W. y Cuerda, J. (1962). Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology*, 70: 398-416.
- Calvet, F. y Pomar, L. (1975). Las rizoconcreciones del Pleistoceno de Mallorca. *Univ. Barelona. Inst. Inves. Geol.*: 30, 35-60.
- Clemmensen, L.B., Fornós, J.J. y Rodríguez-Perea, A. (1997). Morphology and architecture of a late Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. *Terra Nova*, 9: 251-254.
- Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós J.J. y Bromley, R.G. (2001). Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean : a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 48: 217-232.
- Cuerda, J. (1975). *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Institut d'Estudis Baleàrics. Palma de Mallorca. 304 pp.
- Fornós, J.J., Bromley, R.G., Clemmensen, L.B. y Rodríguez-Perea, A. (2002). Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180: 277-313.

- Fornós, J.J. y Pomar, L. (1983). Mioceno superior de Mallorca: Unidad Calizas de Santanyí (Complejo Terminal). In: *El Terciario de las Baleares*. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedi-mentología. Menorca.
- Fornós, J.J. y Pons-Moyà, J. (1982). Ignitas de *Myotragus balearicus* del yacimiento de ses Piquetes (Santanyí, Mallorca). *Boll Soc. Història Natural de les Balears*, 26: 135-144.
- Hearty, P.J. (1987) New data on the Pleistocene of Mallorca. *Quaternary Science Reviews*, 6: 245-257.
- Hillaire-Marcel, C., Gariépy, C., Ghaleb, B., Goy, J.L., Zazo, C. y Cuerda, J. (1996). U-series measure-ments in Tyrrhenian deposits from Mallorca – further evidence for two last interglacial high sea-levels in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- Lankaster, N. y Tchakerian, V.P. (1996). Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. *Geomorphology*, 17: 151-165.
- Livingstone, I. y Warren, A. (1996). *Aeolian geomorphology. An Introduction*. Addison Wesley Longman, Essex.
- Pomar, L., Fornós, J.J. y Rodríguez-Perea, A. (1985). Reef and shallow carbonate facies of the Upper Miocene of Mallorca. *IAS 6th European Regional Meeting, Excursion Guidebook*, 494-518.
- Pye, K. y Tsoar, H. (1990). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London.
- Rose, J.; Meng, X. y Watson, C. (1999). Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the Western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, London: 156: 435-448.
- Rubin, D. (1987). *Cross-bedding, Bedforms and Paleocurrents*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology. SEPM, Tulsa, OK.
- Tsoar, H. (1983). Wind tunnel modelling of echo and climbing dunes. In: *Eolian Sediments and Processes* (M.E Brookfiels and T.S. Ahlbrandt, eds.), pp. 247-259. Elsevier, Amsterdam.

Anexo 2.5

Itinerario y paradas complementarias

Parada 1. S'Estret des Temps

La presencia de dunas de frente de acantilado (*Cliff-front dunes*) es una característica común de los depósitos del Pleistoceno superior en las costas de las Baleares. Gracias a una litificación muy temprana, debido entre otras causas a su composición totalmente bioclástica, su morfología y estructura interna queda perfectamente preservada y es visible gracias a las labores de explotación de una antigua cantera de *marès* que es el nombre local para designar este tipo de calcarenitas.

La duna se encuentra en el frente de un acantilado de trazado curvo y pared vertical de más de 20 m de altura (Fig. 1). Su desarrollo y evolución nos muestra que a partir de un estadio inicial de duna eco, la cresta crece en la vertical, acercándose progresivamente hasta la pared del acantilado de modo que en su estadio final llega

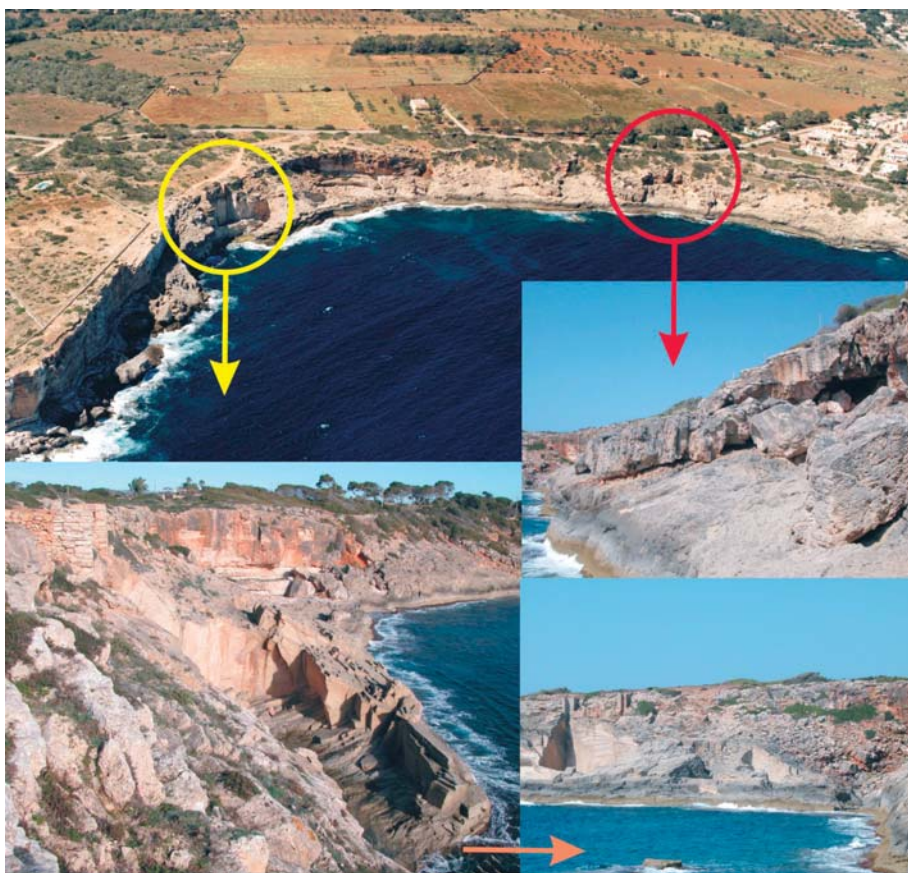


Figura 1: S'Estret des Temps (Santanyí). Vista general del afloramiento de las eolianitas pleistocenas, adosadas al paleoacantilado recortado en las calcarenitas del Mioceno superior.

a alcanzar los 23 m de altura. La duna muestra una fina laminación milimétrica con presencia de *wind-ripples* y estratificación cruzada, con pendiente crítica a supercrítica, que registra sus etapas de crecimiento. El ángulo de ascenso (laminación) de la duna se incrementa en dirección al acantilado llegando a alcanzar puntualmente los 50°. Las características morfológicas generales vienen definidas por la disposición y morfología del acantilado.

Sobre esta duna basal inferior se dispone una segunda secuencia sedimentaria que se inicia por depósitos coluviales, a los que sigue la deposición de una rampa arenosa. Después se localiza un nuevo depósito coluvial con desarrollo de paleosuelo, y al final una duna remontante.

Las dataciones radiométricas efectuadas indicarían que la acumulación sería muy rápida, del orden de algunos miles de años, y que ésta se produjo durante el último periodo glacial en el estadio isotópico 3 (MIS 3).

Una característica más de la excepcionalidad del afloramiento y de su estado de preservación es la presencia de estructuras de pisadas y pistas del vertebrado artiodáctilo *Myotragus balearicus* (Fig. 2). Estas estructuras son poco frecuentes en sedimentos arenosos groseros y dunares e indican una impresión asociada a un grado de humedad elevado. El estado de preservación de las mismas permite diferenciar la etología en el desplazamiento de dichos vertebrados por la duna, así como las estructuras de deformación asociadas en diversos niveles de penetración.



Figura 2: Detalles de una lámina de las eolianitas perteneciente a la cresta de la duna, mostrando abundantes estructuras correspondientes a icnitas y pistas de *Myotragus balearicus*.